

幼児と成人の握力における随意的筋力発揮の様相

Characteristics of voluntary exertion of force in hand grip for infants and adults

関 智 美 星 野 聡 子¹

SEKI Tomomi HOSHINO Satoko¹

主観的判断に基づいて発揮される筋力について、幼児と成人を比較し、随意的な筋力発揮の様相と発達との関係について調べた。被検者は、最大筋力の「半分」の力で握るようという指示によって、主観的判断に基づいて出力レベルを設定し、左右それぞれ、2回ずつ握力を発揮した。発揮された筋力は、基準の50%MVCとの差(AbsE)に、幼児と成人で有意差が見られた。発揮筋力の左右差については有意差が見られなかった。また成人男子、成人女子、幼児男子、幼児女子のいずれにおいても、右での発揮筋力と左での発揮筋力に有意な相関関係が見られた。このことから、随意的な筋力発揮において、まず、主観的に設定した出力レベルに基づく、遠心性の出力感覚による調節能力が発達し、その後、客観的な要求レベルと、主観的な出力レベルとの対応が学習されて行くのではないかと推測された。また、2回の連続発揮における再現誤差は、幼児の方が有意に大きかった。これは幼児と成人の、末梢情報の知覚および処理機能の発達の違いが関係しているのではないかと推測された。

キーワード：幼児、成人、握力、随意的発揮、主観的レベル

Key Words: infants, adults, hand grip, voluntary exertion, subjective level

緒言

日常生活やスポーツ場面で、目的に適う動作が行なわれるためには、適切な大きさの筋力が発揮される必要がある。把握動作においても、ドアノブを回す時は強く、紙コップを持つ時は弱くなど、握力の大きさを調節している。重さの不明な物体をゆっくり持ち上げる時などは末梢情報のフィードバックを利用し、徐々に出力量を増加させるという方略で行われる。また、予め設定された出力量によって動作が遂行される場合もある。手指による精密把握動作において、直前の試技における物体重量や把握面の滑りやすさが次の試技での摘み力に影響すること（木下他，1990；Johansson and Westling, 1984）、また肘屈曲による持ち上げ動作において、不意に重さが軽くなった場

合に持ち上げ過ぎ（オーバーシュート）が生じること（関，1997）などの先行研究の結果は、結果の知識に基づき、動作開始前に予め上位中枢で随意的に出力量を設定していることを示唆している。

乳・幼児期には様々な動作が獲得されていき、5歳になると、基本的動作の殆どができるようになる。しかし動作の巧緻性は成人に比べてまだ低い。その一要因として、発揮筋力の随意的な調節能力が十分に発達していないことが考えられる。本研究では、握力に関して、主観的判断に基づいて発揮される筋力について、幼児と成人を比較し、随意的な筋力発揮の様相と発達との関係を調べる。

方法

1 奈良女子大学文学部人間科学科

被検者は、右利きの、成人男子24名（年齢 19.0 ± 0.4 歳）、女子40名（年齢 18.5 ± 0.6 歳）、5歳児男子21名、女子22名であった。

スメドレー式握力計を用い、最大筋力と、その50%と主観的に判断された筋力を測定した。幼児と成人で教示を等しくするために、最大筋力は「力いっぱい」、50%は「半分の力」で握るように指示した。左右の順序は、成人、幼児それぞれにおける男子、女子の被検者の、半数を右から、半数を左からとした。

幼児に対しては、「半分」の意味を理解しているかどうかの確認のため、新聞紙を卓球ボール大に丸めたものを4個用意し、「半分ください」の教示によって、このうちの半分を検者に渡すという課題を行った。

まず「力いっぱい」で2回握力を発揮させ、大きい方を最大筋力とした。次に「半分の力」で2回発揮させた。発揮筋力について、最大筋力を100%とする相対値を求めた。1回目と2回目の発揮筋力、および右と左の発揮筋力についてt-testを行った。また、発揮された筋力と基準値である50%との誤差、Algebraic Error (AlgE) と、その絶対値 Absolute Error (AbsE) を求めた。AlgE は基準値に対する過不足傾向を示し、AbsE は、基準値からの隔たりを示す。AlgE, AbsEについて分散分析を行った。

1回目と2回目の発揮筋力の平均値を用いて、右と左での発揮筋力の差の絶対値（左右差）を求め、分散分析を行った。さらに、右と左での発揮筋力の相関係数を求めた。また、1回目と2回目の発揮筋力の差の絶対値（再現誤差）を求め、分散分析を行った。

結果

1. 幼児に対する「半分」の理解度課題

男児5名、女児2名が、4個の新聞紙ボールのうち半分取るようにとの指示に対して、1個しか取らなかった。これらの被検者を省き、男児16名、女児20名について分析した。

2. 最大筋力

最大筋力を表1に示す。幼児の最大筋力は、男子・女子、右・左ともに、成人女子の約4分の1、成人男子に比べると約6分の1であった。成人・幼児、男子・女

子、右・左を3要因とする分散分析を行ったところ、成人・幼児の主効果 ($F=1177.91$, $df=1$, 96 , $p<0.01$)、男子・女子の主効果 ($F=97.68$, $df=1$, 96 , $p<0.01$)、右・左の主効果 ($F=23.32$, $df=1$, 96 , $p<0.01$)、および成人・幼児と男子・女子の交互作用 ($F=97.95$, $df=1$, 96 , $p<0.01$)、成人・幼児と右・左の交互作用 ($F=9.62$, $df=1$, 96 , $p<0.01$) が有意であった。即ち、成人の最大筋力は幼児より有意に大きく、またSheffé-testの結果、成人では男子の方が女子より、右の方が左より有意に大きかった（いずれも $p<0.01$ ）のに対し、幼児では男子と女子、右と左に有意差は見られなかった。

表1. 最大筋力（平均値 \pm SD, 単位：kgf）

	成人		幼児	
	男子	女子	男子	女子
右	49.0 ± 6.0	31.1 ± 5.2	8.3 ± 1.6	8.3 ± 1.4
左	45.5 ± 6.7	28.3 ± 5.0	7.7 ± 1.4	7.6 ± 1.5

3. 「半分」の教示による発揮筋力

図1は、「半分の力で」という教示によって発揮された筋力（最大筋力に対する相対値：%MVC）を示したものである。

成人男子・女子、幼児男子・女子の、右・左それぞれ

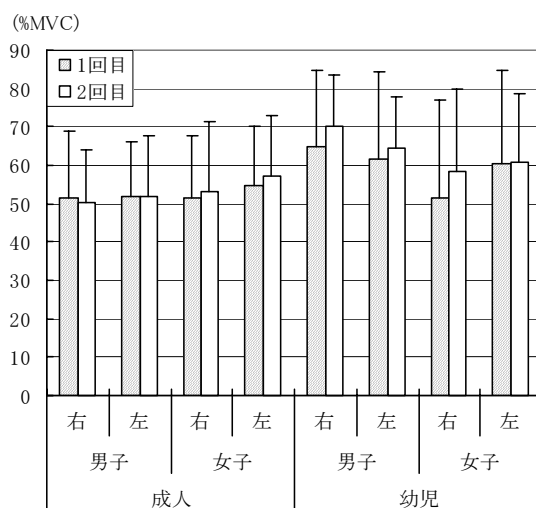


図1. 「半分」の教示で発揮された筋力（平均値 \pm SD）

れにおける1回目と2回目の発揮筋力についてt-testを行ったところ、いずれの場合も有意でなかった。1回目と2回目の平均値を用いて、成人男子、成人女子、幼児男子、幼児女子の右と左の発揮筋力についてt-testを行ったところ、いずれの場合も有意でなかった。右・左を込みにした、成人男子、成人女子、幼児男子、幼児女子それぞれの発揮筋力（平均値±SD）は、 $51.4 \pm 14.0\%$ 、 $54.2 \pm 15.3\%$ 、 $65.2 \pm 14.3\%$ 、 $57.8 \pm 20.7\%$ であった。

また、右と左の発揮筋力の差の絶対値（左右差、図2）について、成人・幼児、男子・女子を2要因とする分散分析を行った結果、主効果、交互作用いずれも有意でなかった。

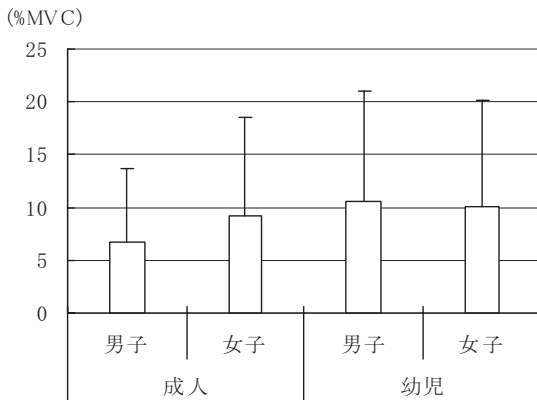


図2. 左右差（平均値±SD）

図3は、右と左の発揮筋力の相関を示す。左右の相関は、成人男子および女子、幼児男子および女子のいずれの場合も有意であった。「半分」の教示に対して主観的判断に基づいて発揮される筋力は被検者によって個人差があるが、同一被検者が右手および左手で発揮する筋力は正の相関関係にあることが示された。

図4にAbsEを示す。成人・幼児、男子・女子、右・左を3要因とする分散分析を行ったところ、成人・幼児の主効果が有意であった（ $F=10.91$, $df=1$, 96 , $p<0.01$ ）。「半分」の教示によって主観的に判断し、設定されて発揮された筋力は、幼児の場合、成人よりも基準値の50%MVCとの差が大きいことが示された。

図5にAlgEを示す。成人・幼児、男子・女子、右・左を3要因とする分散分析を行ったところ、成人・幼

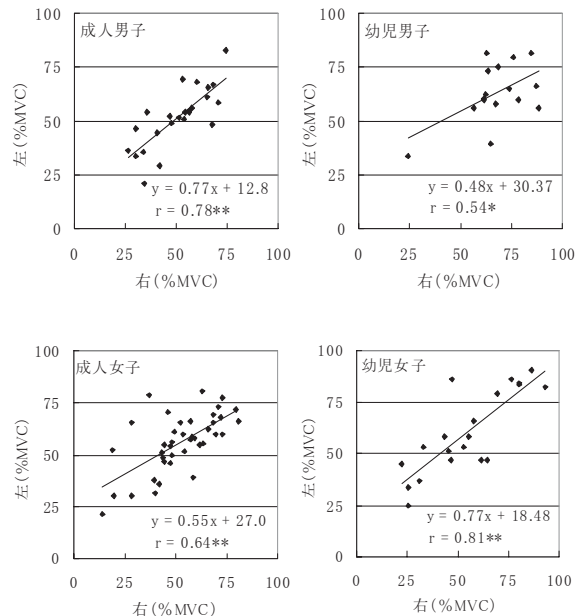


図3. 右と左の発揮筋力の相関関係

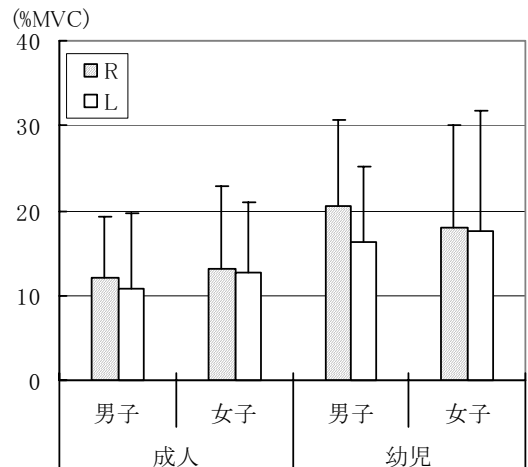


図4. AbsE（平均値±SD）

児の主効果（ $F=7.60$, $df=1$, 96 , $p<0.01$ ），および男子・女子と右・左の交互作用（ $F=5.88$, $df=1$, 96 , $p<0.05$ ）が有意であった。Sheffé-testの結果、右における男子と女子（ $p<0.05$ ），および女子における右と左（ $p<0.05$ ）に有意差があった。幼児は成人より過大に発揮する傾向があることが示された。

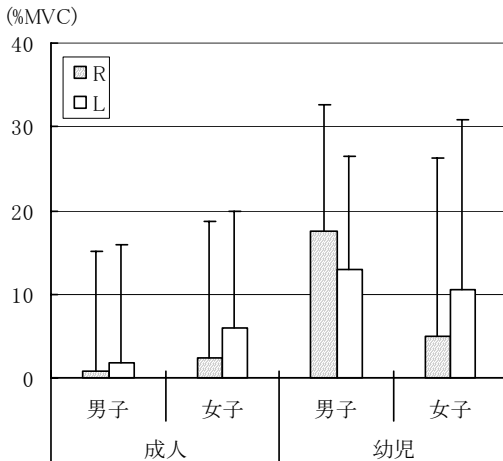


図5. AlgE (平均値±SD)

4. 再現誤差

図6に、再現誤差を示す。成人・幼児、男子・女子、右・左を3要因とする分散分析を行った結果、成人・幼児の主効果 ($F=15.94$, $df=1$, 96 , $p<0.01$)、および成人・幼児、男子・女子、右・左の交互作用 ($F=8.99$, $df=1$, 96 , $p<0.05$) が有意であった。Sheffé-testの結果、幼児男子左と、成人男子左 ($p<0.05$)、成人女子右 ($p<0.01$)、成人女子左 ($p<0.05$) それぞれとの間に有意差があった。2回の連続発揮において、幼児は、特に男子の左において、成人より再現誤差が大きいことが示された。

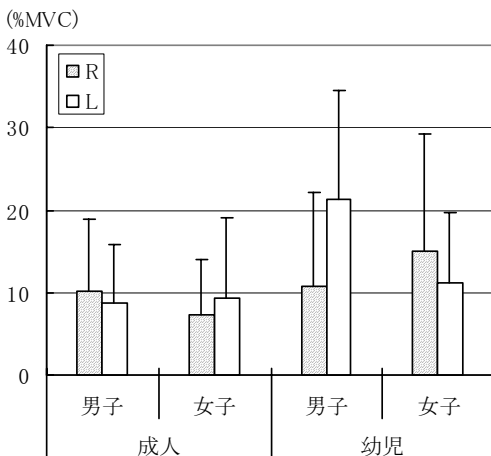


図6. 再現誤差 (平均値±SD)

考察

幼児に対しては、4個の新聞紙ボールの半分を検者に渡すという課題を行い、「半分」の概念が理解されているかどうかを確かめた。幼児の配分行動については、4歳後半には同量・同形配分を基本にさまざまな配分行動が観察されるようになり (田中と田中, 1988), また山名 (2002) の報告では、12個のチップを2枚の皿へ「同じように分ける」という教示に対し、5歳児では23名中21名 (91%) が正解した。本研究では、男女合わせて84%が、4個の新聞紙ボールのうち2個を取り、正解した。本研究の正解率がやや低いのは教示や方法の違いによるものと思われる。5歳児では2等分する行動自体は獲得されているが、言語教示がその行動を示唆しているという理解が、教示方法によって異なるものと思われる。本実験において、4個のうち1個しか取らなかった被験者も、2等分することは可能であったかもしれないが、「半分」の意味、或いは「半分ください」という教示の意図が理解されなかったものと思われる。本研究では「半分」の意味が理解されていると確認できた、正解者のデータのみを用いて分析した。

AbsEの分散分析の結果、「半分」即ち50%MVCの基準値との誤差が、幼児は成人より有意に大きいことが示された。これは、「半分」の概念は理解されていても、最大筋力の半分、即ち50%MVCの筋力が、出力 (努力) 感覚としてどの程度の出力量なのかという判断が、幼児では成人よりも不正確になったものと考えられる。

図3に見られるように、「半分」の教示に対して、各被験者が主観的に判断して発揮する筋力は、成人の場合も、被検者によって50%以上の個人差があった。幼児の場合は、さらに大きな個人差があった。「半分」などの言語によって表わされる概念と、筋力発揮における主観的な出力 (努力) 感覚のあるレベルとの対応は、学習によって形成されるものと考えられる。成人被検者においても、多くの被験者が「半分がどのくらい分からない」という内省を示した。結果の知識が得られない本実験の場合、過去の経験から推測せざるを得ず、経験量の少ない幼児は、どの出力感覚レベルを適用するか判断が、成人よりもさらに不明瞭であったものと考えられる。

また、AlgEの分散分析の結果、幼児の男子は過大に出力する傾向が見られたが、これについては、関連する要因について今後さらに検討したい。

右と左の発揮筋力について、成人・幼児の男子・女子それぞれt-testを行った結果、いずれの場合も有意差は無かった。左右差について、成人・幼児、男子・女子を2要因とする分散分析を行った結果も、主効果、交互作用いずれも有意でなかった。そして、成人・幼児の男子・女子それぞれ、右と左の発揮筋力には有意な正の相関があった。これは、一旦出力レベルが設定されれば、同一被検者において、左右で同じ大きさの筋力が出力されることを示している。左右の握力発揮では、活動する筋群が異なる。上位中枢で主観的な出力レベルが設定されると、その主観的尺度が、異なる筋群の運動に対しても適用されるのではないかと考えられる (Seki and Ohtsuki, 1995)。また、このような主観的出力レベルに基づく筋力発揮においては、5歳児は成人と同様の正確性で出力量を調節できることが示唆された。

末利ら (1972) は、5回の連続発揮における握力の再現誤差を調べ、6歳から9歳の発達が顕著で、10歳以降に安定した値を示すことを報告した。本研究において、2回の連続発揮における再現誤差は、幼児の方が成人より有意に大きかった。

木下ら (1992) は、幼児と成人の手指による持ち上げ動作において、把握力が、5歳まで急速に減少し、その後8歳まで徐々に減少することを報告した。末利ら (1972) は、5歳から17歳の被検者による重量弁別課題において、弁別閾が11歳まで次第に減少していくことを報告した。また握力による力量弁別課題において、幼児 (男子5~6歳) の弁別閾が成人 (男子21~27歳) より大きいことが報告された (村瀬他, 1999)。把握力の調節や弁別は、皮膚や筋紡錘、腱器官などからの末梢情報に基づいて行われていると考えられ、これらの先行研究の結果は、成人の方が、末梢情報の知覚および処理機能が発達していることを示唆していると考えられる。本研究においても、幼児の再現誤差が成人より大きかったのは、握力の2回連続発揮では、1回目の試行における末梢情報が2回目の出力量の調節に利用され、幼児では成人に比べて、末梢情報の知覚

および処理機能が十分に発達していないため誤差が大きくなったのではないかと考えられる。

随意的な筋力発揮においては、遠心性の出力に対する感覚、および末梢の皮膚や筋紡錘、腱器官などの自己受容器からの感覚がフィードバックされ、出力量を調節していると考えられる (Brooks, 1986)。本研究で用いた課題では、「半分」という言語指示に対し、主観的出力 (努力) レベルを設定し、その主観的出力レベルに基づいて筋力を発揮した。発揮筋力の左右差に幼児と成人に有意差が無く、基準の50%MVCとの差 (AbsE) には有意差が見られた。このことから、随意的な筋力発揮において、まず、主観的に設定した出力レベルに基づく、遠心性の出力感覚による調節能力が発達し、その後、客観的な要求レベルと、主観的な出力レベルとの対応が学習されて行くのではないかと考えられる。また、2回の連続発揮における再現誤差は、幼児の方が有意に大きかった。同じ筋群による連続発揮においては、直前の試行における末梢情報が利用できる。5歳以降に、おそらく末梢情報の知覚および処理機能がさらに発達し、再現の正確性が向上していくのではないかとと思われる。

引用文献

- Brooks, V.B.: *The neural basis of motor control*, Oxford Univ.Press, New York (1986)
- Johansson R.S, Westling G.: Roles of glabrous skin receptors and sensorimotor memory in automatic control of precision grip when lifting rougher or more slippery objects, *Exp Brain Res.*, 56, 550-564 (1984)
- 木下博, 葛原憲治, 生田香明: 手指による精密把握動作に対する物体重量と把握面の摩擦状況の影響, バイオメカニクス研究'90, 日本バイオメカニクス学会編, メディカルプレス, 112-118 (1990)
- 木下博, 生田香明, 葛原憲治, 会田勝, Farssberg, H.: 小物体の持ち上げ運動に関わる把握力制御機能の発達, 体育学研究, 37, 69-86 (1992)
- 村瀬智彦, 浅見高明, 加藤雄一郎, 平井仁: 幼児と成人の比較による力量弁別特性における発達変化, 愛知大学体育学論叢, 8, 1-7 (1999)

関智美：不意の重量変化に対する持上げ動作の様相から見た力の見積もりと修正過程，奈良佐保短期大学研究紀要第7号，15-20（1997）

Seki, T., and Ohtsuki, T.: Reproducibility of subjectively graded volutary isometric muscle strength in unilateral and simultaneous bilateral exertion, *Ergonomics*, 38, 1867-1876(1995)

末利博，千駄忠至，内藤憲雄：運動感覚の発達に関する研究 重量弁別と発現筋力の認知について，京都教育大學紀要，41，47-58（1972）

田中昌人，田中杉恵：配分，子どもの発達と診断5 幼児期Ⅲ，大月書店，46-49（1988）

山名裕子：幼児における均等配分方略の発達変化，教育心理学研究，50，446-455（2002）

Characteristics of voluntary exertion of force in hand grip for infants and adults

SEKI Tomomi HOSHINO Satoko¹

The present study was investigated the characteristics of voluntary exertion of force in hand grip in adults and infants. Subjects were instructed to exert half of their maximal voluntary contraction. They exerted force in hand grip based on their subjective judgments as their 50%MVC twice with right and left hand, respectively. AbsE, i.e., the difference between exerted force and 50%MVC, was statistically significant between adults and infants. AbsE was not significant between right and left hand. The significant correlations between the exerted force in right hands and that in left hands were observed in male adults, female adults, male infants and female infants, respectively. It was considered that the ability regarding the control of exertion of force based on the subjective sense of output levels seemed to develop early in childhood, and the matching of the subjective sense of output levels for the objective levels of force seemed to develop with the increase of age. The reproduction error between the 1st and the 2nd exertion in infants was significantly larger than that in adults. It was supposed that the difference of the sensibility and the ability of treatment of peripheral information between adults and infants affected the difference of the reproduction error.

Key Words : infants, adults, hand grip, voluntary exertion, subjective level